

第 27 卷 第 2 期

海洋环境科学

Vol. 27, No. 2

2008 年 4 月

MARINE ENVIRONMENTAL SCIENCE

Apr. 2008

2003 ~ 2004 年大亚湾澳头养殖区水域浮游植物群落结构及数量变动特征

张玉宇^{1,2}, 吕颂辉^{2,3}, 齐雨藻^{2,3}

(1. 厦门大学 生命科学院, 福建 厦门 361005; 2 暨南大学 赤潮与水环境研究中心, 广东 广州 510632; 3. 华南师范大学 生命科学院, 广东 广州 510631)

摘 要: 2003 年 4 月至 2004 年 4 月对大亚湾赤潮高发区澳头海域进行了浮游植物群落周年调查和分析。共鉴定浮游植物 57 属 118 种。其中硅藻为优势类群, 共 42 属 84 种, 占总种类数的 71.2%; 甲藻 11 属 27 种。浮游植物数量分别在春末夏初, 秋末冬初出现两个高峰值, 年均值为 5.68×10^5 /L。角毛藻属为全年优势属, 平均占浮游植物数量的 35.4%。Shannon-Weaver 多样性指数和均匀度的年平均值分别为 2.0 和 0.44。该海域共发现赤潮生物 58 种, 锥状斯氏藻是最常见的甲藻赤潮生物, 2003 年 8 月该藻与海洋卡盾藻在澳头海域首次引发甲藻和针胞藻双相型赤潮。

关键词: 浮游植物群落; 赤潮; 大亚湾

中图分类号: Q948.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-6336(2008)02-0131-04

Changes on community structure and population of phytoplankton in aqua-cultural area of Daya Bay 2003 ~ 2004

ZHANG Yu-yu^{1,2}, LÜ Song-hui^{2,3}, QI Yu-zao^{2,3}

(1. College of Life Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China 2. Research Center of Harmful Algal Bloom and Aquatic Environmental Science, Jinan University, Guangzhou 510632, China 3. College of Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: The composition and seasonal succession in Aotou, an high frequent harmful algal bloom occurrent area in Daya Bay, the South China Sea, were investigated from Apr. 2003 to Apr. 2004. 118 species in total, 57 genera were recorded. Diatoms (84 taxa) were the largest group and accounted for 71.2%, followed by dinoflagellates (27 taxa). The dominant population in the area was species of Chaetoceros, and it accounted for 35.4% of the total phytoplankton. The model of quantitative variation was the two-peak type, which appeared in early summer and late autumn. The diversity indexes (H') and evenness (J') of phytoplankton were 2.0 and 0.44, respectively. 58 harmful or potentially harmful species were identified. *Scrippsiella trochoidea* was common HAB causative species, and caused bilateral red tide with *Chattonella marina* on Aug. 2003.

Key words: phytoplankton community; harmful algal blooms; Daya Bay

澳头海域位于大亚湾顶部, 是大亚湾主要的网箱养殖密集海区, 养殖历史近 30 a。长期的网箱养殖对水环境造成了严重污染, 20 世纪 90 年代开始水体营养盐结构逐步从 N 限制型向 P 限制型转变^[1~6], 浮游植物群落中鞭毛藻数量和种类增加, 有毒有害赤潮频繁发生。仅 1997 年至 1998 年该海域就共发生赤潮 7 次, 给当地渔业资源

和增养殖业造成了严重损失^[7,8]。对该海域已有的调查与研究主要集中在 1997 年至 2000 年^[7~15], 本课题从 2003 年至 2004 年对澳头养殖区海域浮游植物群落的种类组成、数量分布及季节变化进行了跟踪调查分析, 旨在为研究有害赤潮发生生态学机制和制定大亚湾海水增养殖业可持续发展策略提供基础资料。

* 收稿日期: 2007-05-05, 修订日期: 2007-09-05

基金项目: 国家自然科学基金 (30370115); 广东省科技攻关项目 (200113); 广州市科技计划项目 (2003Z3-C7361)

作者简介: 张玉宇 (1978-), 女, 山西太原人, 博士研究生, 研究方向为水生生物学。

通讯作者: 吕颂辉 E-mail: lusonghui1963@163.com

1 材料与方法

1.1 站位布设

在大亚湾澳头海域共设置 4 个采样站位 (图 1)。S1 站位设在没有养殖区的海域,作为对照点;其余 3 个站位均设在养殖区,并且 S2 和 S4 站位紧挨岸边的居民区。

1.2 浮游植物样品采集和观察

2003 年 4 月至 2004 年 4 月每月采样 2 次,赤潮发生期间增加采样频率。浮游植物样品分网采 (定性) 和水采 (定量)。网采样品用孔径为 $20\ \mu\text{m}$ 的浮游生物采集网采集,福尔马林溶液固定后进行浮游植物种类鉴定。水采样品用有机玻璃采水器,表层和底层各取 1 L 水样,用孔径为 $20\ \mu\text{m}$ 的筛绢过滤,收集 $>20\ \mu\text{m}$ 的浮游植物,福尔马林溶液固定,采用 0.1 mL 浮游植物计数框定量进行种类鉴定和计数。

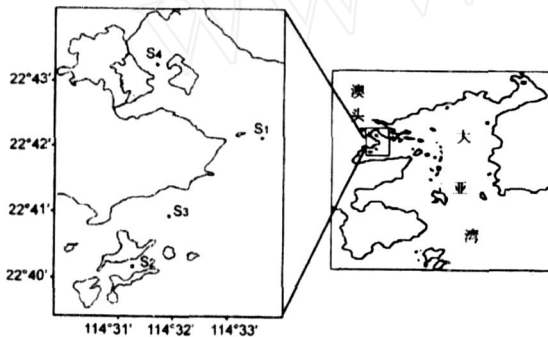


图 1 大亚湾澳头海域调查站位的分布

Fig. 1 Sample stations in Aotou, Daya Bay

2 结果与讨论

2.1 浮游植物的种类组成特征

本调查共鉴定出浮游植物 118 种 (含变种、变型)。其中硅藻门 42 属 84 种,甲藻门 11 属, 27 种,分别占总种类数的 71.2% 和 22.9%;蓝藻门 1 属 2 种;着色鞭毛藻门 2 属 4 种;裸藻门 1 属 1 种。硅藻以根管藻属 (*Rhizosolenia*) 和角毛藻属 (*Chaetoceros*) 为优势类群,分别为 13 种和 12 种;甲藻以原甲藻属 (*Proocentrum*) 和原多甲藻属 (*Protoperdinium*) 种类较丰富。由于其它鞭毛藻类难于固定保存,所以没有统计在内。

澳头海域浮游植物种类组成具有典型的亚热带生物特点,以暖水性种类和广布性种类为主,如旋链角毛藻 (*C. curvisetus*)、窄隙角毛藻 (*C. affinis*)、双突角毛藻 (*C. didymus* var. *didymus*)、洛氏角毛藻 (*C. lorenzianus*)、中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、浮动弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*)、菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschoides*)、柔弱几内亚藻 (*Guinardia delicatula*) 和条纹几内亚藻 (*Guinardia striata*) 等。按地理类型分,大部分种类属于近岸类型,如窄隙角毛藻、菱形海线藻、*Paralia sulcata*、丹麦细柱藻 (*Leptocylindrus danicus*)、柔弱几内亚藻、刚毛根管藻 (*R. setigera*)、尖刺拟菱形藻 (*Pseudo-nitzschia pungens*) 等;外海种类较少,代表种有笔尖形根管藻 (*R. styliformis*)、秘鲁角毛藻 (*C. peruvianus*)、细弱海链藻 (*Thalassiosira subti-*

lis)、佛氏海毛藻 (*Thalassiothrix frauenfeldii*)。

2.2 浮游植物优势种组成及演替

澳头海域浮游植物终年以硅藻为优势种群 (以 $>10\%$ 为标准),优势种演替具有明显的季节性变化 (表 1)。其中角毛藻属是澳头海域最重要的优势种属,全年均有相当数量的分布。调查期间该属种群丰度年均值达 $2.0 \times 10^5/\text{L}$,占年浮游植物群落细胞总数的 35.4%,其中 2003 年 6 月占浮游植物总数量比例高达 87.7% (图 2)。角毛藻细胞数量周年分布出现两个高峰期,即 5~7 月和 10~12 月。常见的角毛藻种类有洛氏角毛藻、旋链角毛藻、窄隙角毛藻、齿角毛藻 (*C. denticulatus* f. *denticulatus*)、扁面角毛藻 (*C. canpressus*) 和双突角毛藻。

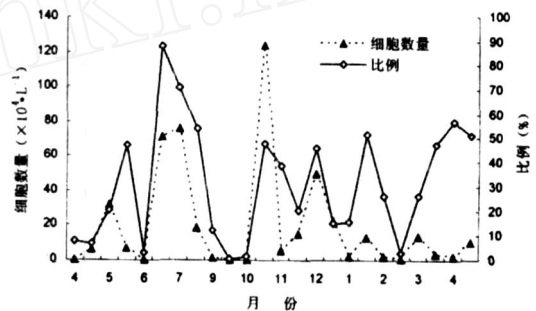


图 2 澳头海域角毛藻细胞数的周年变化

Fig. 2 Annual averages of cell number of *Chaetoceros* spp. in Aotou, Daya Bay

除了角毛藻属为全年优势属外,常见的硅藻优势种属还有拟菱形藻、菱形海线藻、海链藻,分别占年平均总细胞数的 25.7%、5.1%、1.8%,它们交替在浮游植物群落中占据优势。春季主要由广布性沿岸种,如菱形海线藻、拟菱形藻、海链藻组成。夏季优势种类较少,发生两次鞭毛藻赤潮。秋季浮游植物种类和数量都有所增加,除菱形海线藻、拟菱形藻、海链藻、中肋骨条藻占优势外,辐杆藻 (*Bacteriastrium* sp.)、活动齿状藻 (*Odontella mobiliensis*)、丹麦细柱藻和中华半管藻 (*Hemialus sinensis*) 细胞数量都出现了周年高峰期。秋末冬初,广温型的冰河拟星杆藻 (*Asterionellopsis glacialis*) 开始在浮游植物群落中占据绝对优势,一直持续到 12 月,之后逐渐被辐杆藻取代。冬季由于低温影响,浮游植物种类数明显下降,此时细长翼根管藻 (*Rhizosolenia alata* f. *gracillima*) 开始大量繁殖,在冬末春初形成优势种,2004 年 3 月达到峰值 ($1.1 \times 10^5/\text{L}$)。该藻曾于 1983 年 3~4 月在大亚湾海域引发过赤潮,造成严重的渔业生产损失^[16],因此该藻在大亚湾冬季有引发赤潮的隐患。

甲藻一般在春季和夏末秋初形成两个数量高峰,优势种主要为锥状斯氏藻 (*Scrippsiella trochoidea*)、原多甲藻 (*Protoperdinium* spp.)、微小原甲藻 (*Proocentrum minimum*) 和叉角藻 (*Ceratium furca*) (表 1)。初春微小原甲藻在水体中大量繁殖。5 月锥状斯氏藻赤潮之后,原多甲藻数量上升占据优势,其它甲藻数量如海洋原甲藻 (*P. micans*)、膝沟藻 (*Gonyaulax* sp.)、*Pyrophacus horologium* 也有所上升。8 月锥状斯氏藻与海洋卡盾藻 (*Chattonella marina*) 共同引发双相赤潮,锥状斯氏藻细胞密度最高达

到 10^7 数量级 (图 3)。赤潮过后, 甲藻数量中原多甲藻仍然占主导, 反曲原甲藻 (*P. sign oides*) 和叉角藻次之。

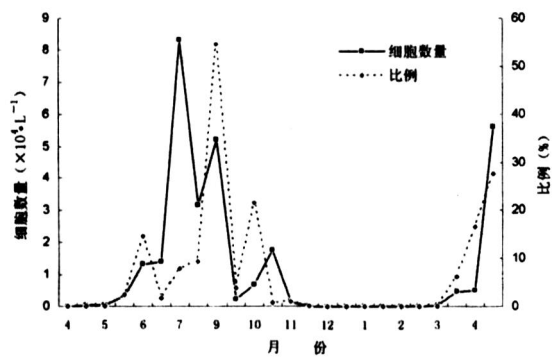


图 3 澳头海域锥状斯氏藻细胞数及其占浮游植物百分比的周年变化
Fig 3 Annual averages of cell number of *Scrippsiella trochoidea* in Aotou

表 1 大亚湾澳头海域 2003 年 4 月 ~ 2005 年 4 月主要优势种的季节演替
Tab 1 Succession in dominant species in Daya Bay from Apr 2003 to Apr 2005

采样日期	优势种名
2003-04	<i>Chaetoceros</i> spp , <i>Pseudo-nitzschia</i> spp , <i>Thalassiosira</i> spp
2003-05	<i>Chaetoceros</i> spp , <i>Pseudo-nitzschia</i> spp <i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i>
2003-06	<i>Chaetoceros</i> spp , <i>Thalassionema nitzschioides</i>
2003-07	<i>Chaetoceros</i> spp , <i>Pseudo-nitzschia</i> spp
2003-09	<i>Thalassiosira</i> spp , <i>Protoperdinium</i> spp
2003-10	<i>Chaetoceros</i> spp , <i>Pseudo-nitzschia</i> spp , <i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiosira</i> spp
2003-11	<i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Chaetoceros</i> spp , <i>Pseudo-nitzschia</i> spp , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>
2003-12	<i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Chaetoceros</i> spp
2004-01	<i>Bacteriastnum</i> sp , <i>Chaetoceros</i> spp , <i>Rhizolenia alata</i>
2004-02	<i>Rhizolenia alata</i> f <i>gracillina</i>
2004-03	<i>Chaetoceros</i> spp , <i>Rhizolenia alata</i> , <i>Thalassiosira</i> spp , <i>Prorocentrum minimum</i>
2004-04	<i>Chaetoceros</i> spp , <i>Scrippsiella trochoidea</i>

2.3 浮游植物数量周年变动

浮游植物细胞数量的周年变化模式整体表现为春末夏初、秋末冬初两个数量高峰期 (图 4, 8 月发生赤潮, 故没有标出)。月平均值变动范围为 $(2.21 \sim 259.51) \times 10^4$ /L, 周年站位实测值变化范围为 $(7.60 \sim 5240.25) \times 10^3$ /L, 年均值为 5.68×10^5 /L。澳头养殖区海域浮游植物数量主要由硅藻和甲藻数量主导, 其中硅藻细胞数量月平均占 85.1%。

春季随着水温的上升, 浮游植物总细胞数开始上升。

5 月浮游植物细胞数量达到第一高峰期, 月均值为 8.7×10^5 /L。5 月底发生甲藻赤潮, 之后浮游植物细胞数量先降后升, 直至 8 月发生甲藻和针胞藻赤潮后浮游植物细胞数量再次下降至 3.1×10^4 /L。10 月浮游植物数量反弹, 达到当年的第二个高峰期。由于大量浮游植物消耗了水体中的营养盐, 导致 11 月初出现总细胞数的大幅下降, 月均值由 10 月的 13.1×10^5 /L, 降至 4.4×10^5 /L, 但随后 12 月又迅速回升到了 12.5×10^5 /L。2004 年 1 月随着水温下降至周年最低点 (15℃), 浮游植物总细胞数也陡然下降。

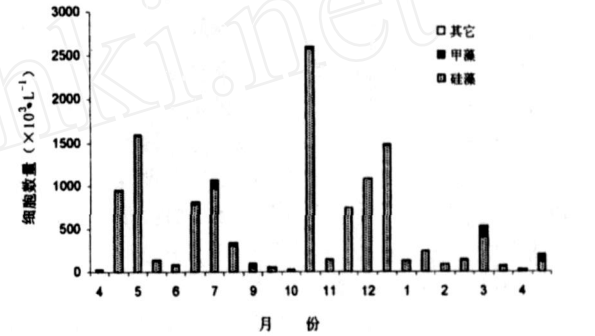


图 4 澳头海域浮游植物总细胞数月均值的周年变化
Fig 4 Annual variation of monthly average of phytoplankton cell numbers in Aotou, Daya Bay

2.4 浮游植物群落多样性分析

调查期间浮游植物多样性指数变化范围为 0.69 ~ 3.25, 年平均值为 2.0。多样性指数季节变化规律不显著。整体上呈现秋季 (9、10、11 月) 相对较高。均匀度指数变化范围为 0.17 ~ 0.74, 年均值为 0.44, 其周年变化趋势与多样性指数非常相似。最低值出现在 4 月, 最高值出现在 10 月。

2.5 赤潮生物及赤潮事件

赤潮生物的存在是赤潮发生的基础。本次调查共鉴定赤潮生物 58 种, 其中硅藻 37 种, 甲藻 19 种, 蓝藻 1 种, 着色鞭毛藻 2 种。硅藻赤潮生物中拟菱形藻、角毛藻和冰河拟星杆藻是最常见且数量较高的种类。它们交替或同时在浮游植物群落中占据优势, 可在全年各季节引发赤潮。1998 年澳头海域相继发生了冰河拟星杆藻、细弱海链藻和角毛藻水华^[8]。虽然硅藻种类多, 经常发生水华, 但覆盖面积较小, 持续时间较短, 未引起大的损失。

甲藻赤潮主要发生在春季和夏季, 近年来其发生率以及引发赤潮的种类都有上升的趋势^[8~11]。本次调查期间共监测到两次甲藻赤潮。第一次发生于 2003 年 5 月 23 日, 共持续 3 d, 赤潮原因种均为锥状斯氏藻, 细胞密度最高达 10^6 数量级。虽然本次赤潮规模较小, 未造成大的危害, 但赤潮后期形成的孢囊为下次赤潮提供了种源。2003 年 8 月 12 ~ 30 日锥状斯氏藻再次在澳头海域引发赤潮, 伴随种为海洋卡盾藻。这是一次罕见的由针胞藻和甲藻形成的双相型赤潮, 共持续了 18 d, 引起网箱养殖鱼类死亡, 经济损失超过 30 万元。

锥状斯氏藻是澳头海域常见甲藻种类, 曾在澳头海域多次引发赤潮。2000 年 8 ~ 9 月该藻引发的大规模赤

潮造成经济损失超过 70 万元^[10]。该藻孢囊是大亚湾甲藻孢囊组成中的优势类群,数量百分比超过 50%^[17]。由于孢囊萌发温度略高于 14℃,休眠期只有 25 d,所以锥状斯氏藻孢囊可在一个季节内多次萌发,对营养细胞的大量增殖起了关键性作用。

海洋卡盾藻隶属针胞藻纲 (Raphidophyceae),针胞藻目 (Raphidophyceae)卡盾藻属 (*Chattonella*),细胞裸露无壁,含有毒素,广泛分布于亚洲的中国东南沿海、日本沿海、印度洋;欧洲地中海、法国及荷兰沿海;非洲阿尔及利亚沿海等地。近年来,由其引发的赤潮频率逐渐增高,范围不断扩大,危害日益增加,特别是在日本濑户内海,已对养殖渔业造成了巨大损失。我国首次记载的海洋卡盾藻赤潮发生于 1991 年 3 月 20 日南海大鹏湾盐田海域,此后在北黄海和台湾也相继报道了由该藻引发的赤潮^[18, 19]。海洋卡盾藻可以形成孢囊,当环境条件适宜时孢囊就会萌发释放到水体中引发赤潮。由于该藻可以产生多种毒素,如超氧化物、游离脂肪酸、类短裸甲藻毒素和溶血性毒素等,所以对海水养殖业危害很大。据国外已有报道,中毒鱼类呈缺氧症状,其作用机制目前尚不清楚。

除锥状斯氏藻和海洋卡盾藻外,近年来澳头海域还发生过裸甲藻和五角多甲藻赤潮 (表 2)。

表 2 1998 年至 2003 年大亚湾澳头海域典型有毒有害赤潮事件

Tab 2 Harmful algal bloom events in Aotou, Daya Bay from 1998 to 2003

发生时间	赤潮生物	作者
1998-05	裸甲藻	徐宁 ^[8]
1999-05	五角多甲藻	陈菊芳,齐雨藻 ^[9]
2000-05	五角多甲藻	钟思胜 ^[11]
2000-08 ~ 09	锥状斯氏藻	肖咏之,齐雨藻 ^[10]
2003-05	锥状斯氏藻	本次调查
2003-08	锥状斯氏藻、海洋卡盾藻	本次调查

3 结 语

(1) 澳头海域浮游植物群落是一个以硅藻为主导型的浮游植物群落,硅藻分别占浮游植物种类和数量的 71.2% 和 85.1%。浮游植物种类组成以暖水性种类和广布性种类为主,根管藻属 (*Rhizosolenia*) 和角毛藻属 (*Chaetoceros*) 为硅藻种类中的两大优势类群,甲藻则以原多甲藻属和原甲藻属的种类较为丰富。

(2) 浮游植物优势种类交替频繁,有时优势种类多,有时则单一种类数量占绝对优势。常见优势种类有角毛藻、拟菱形藻、菱形海线藻、冰河拟星杆藻和锥状斯氏藻等。

(3) 角毛藻属为全年优势属,平均占浮游植物数量的 35.4%,因此浮游植物数量的时空变动在很大程度上取决于角毛藻的种群动态。浮游植物分别在春末夏初和秋末冬初出现两个细胞数量高峰期。甲藻在春季和夏末初秋丰度较高。

(4) 近年来,澳头海域甲藻赤潮发生频率及赤潮种类

有上升趋势,新的赤潮类型出现。锥状斯氏藻是最主要的甲藻赤潮生物,在春夏季容易引发赤潮。

参考文献:

- [1] 何悦强,郑庆华,温伟英,等. 大亚湾海水网箱养殖与海洋环境相互影响研究 [J]. 热带海洋, 1996, 15 (2): 22-27.
- [2] 徐宁,吕颂辉,段舜山,等. 营养物质输入对赤潮发生的影响 [J]. 海洋环境科学, 2004, 23 (2): 20-24.
- [3] 王友绍,王肇鼎,黄良民. 近 20 年来大亚湾生态环境的变化及其发展趋势 [J]. 热带海洋学报, 2004, 23 (5): 85-95.
- [4] 彭云辉,孙丽华,陈浩如,等. 大亚湾海区营养盐的变化及富营养化研究 [J]. 海洋通报, 2002, 21 (3): 44-49.
- [5] 王朝晖,齐雨藻,李锦蓉,等. 大亚湾养殖区营养盐状况分析与评价 [J]. 海洋环境科学, 2004, 23 (2): 25-28.
- [6] 韦献革,温琰茂,王文强,等. 哑铃湾网箱养殖区底层水营养盐的分布与评价 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2005, 44 (4): 115-119.
- [7] 王朝晖,陈菊芳,徐宁,等. 大亚湾澳头海域硅藻、甲藻的数量变动及其与环境因子的关系 [J]. 海洋与湖沼, 2005, 36 (2): 186-192.
- [8] 徐宁,陈菊芳,王朝晖,等. 广东大亚湾藻类水华的动力学分析 I 藻类水华的生消过程及其与环境因子的关系 [J]. 海洋环境科学, 2001, 20 (2): 3-4.
- [9] 陈菊芳,齐雨藻,肖咏之,等. 我国赤潮新记录种 - *Peridinium quinquecomae* Abe 的研究 [J]. 海洋环境科学, 2000, 19 (3): 20-23.
- [10] 肖咏之,齐雨藻,王朝晖,等. 大亚湾海域锥状斯氏藻赤潮及其与孢囊的关系 [J]. 海洋科学, 2001, 25 (9): 50-54.
- [11] 钟思胜,李锦蓉,罗一丹. 大亚湾五角多甲藻赤潮发生的环境因素分析 [J]. 海洋环境科学, 2002, 21 (1): 34-38.
- [12] 王朝晖,陈菊芳,徐宁,等. 大亚湾裸甲藻种群的季节变化与环境条件的关系 [J]. 生态学报, 2001, 21 (11): 1825-1832.
- [13] 王朝晖,齐雨藻,徐宁,等. 大亚湾日本星杆藻种群动态及其与环境因子的关系 [J]. 中国环境科学, 2004, 24 (1): 32-36.
- [14] 陈菊芳,徐宁,王朝晖,等. 大亚湾拟菱形藻 (*Pseudo-nitzschia* spp.) 种群的季节变化与环境因子的关系 [J]. 环境科学学报, 2002, 22 (6): 743-748.
- [15] 徐宁,陈菊芳,王朝晖,等. 广东大亚湾藻类水华的动力学分析 I 藻类水华与营养元素的关系研究 [J]. 环境科学学报, 2001, 21 (4): 400-404.
- [16] 周贤沛,林永水,王肇鼎. 大亚湾水域浮游植物群落特征的统计分析 [J]. 热带海洋, 1998, 17 (3): 57-64.
- [17] 王朝晖, KAZUMI IM, 齐雨藻,等. 大亚湾澳头海域表层沉积物中甲藻孢囊的垂直分布 [J]. 海洋环境科学, 2003, 22 (4): 5-8.
- [18] 齐雨藻,洪英,吕颂辉,等. 中国赤潮生物新记录种 - 海洋褐胞藻 [J]. 暨南大学学报 (自然科学版), 1991, 12 (3): 92-95.
- [19] 矫晓阳,郭皓. 中国北黄海发生的两次海洋褐胞藻赤潮 [J]. 海洋环境科学, 1996, 15 (3): 41-44.